

## Ticari İçten Yanmalı Bir Motorun Hava Emiş Sistemi Tasarımı

\*<sup>1</sup>Orhan Pehlivan

\*<sup>1</sup>TOFAŞ, Ar-Ge Direktörlüğü, Motor Transmisyon ve Kontrol Sistemleri Müdürlüğü, Bursa, Türkiye

### Özet:

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hava emiş sisteminin temel amacı, motordan istenilen performansı elde etmek için gereken temiz havayı sağlamaktır. Özellikle, motorda yanma için gerekli olan oksijen, hava emiş sistemi tarafından elde edilen temiz havadan sağlanır. Bu nedenle, motora verilen havanın temizliği ve akış kalitesi motor performansını etkiler. Motora verilen havanın taşınması ve temizlenmesi hava emiş sistemi ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada, müşteri tanımlama parametrelerini, ürün geliştirme sürecini, sistem parametrelerinde optimizasyonu ve sanal doğrulamalarını uygulayarak tamamlanmış bir hava emiş sistemi tasarım süreci baştan sona açıklanmıştır. Bu süreçte, teşhis etme, tanımlama, geliştirme, optimize etme, doğrulama (IDDOV) dizisini temel alan Altı Sigma Tasarım (DFSS) metodolojisi kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava emiş sistemi, Altı Sigma Tasarım, IDDOV

## Air Intake System Design of Commercial Internal Combustion Engine

### Abstract:

The main purpose of the air intake system used in internal combustion engines is to provide the fresh air needed to obtain the required performance from the engine. In particular, the oxygen required for combustion in the engine is supplied from the fresh air obtained by the air intake system. Therefore, the cleanliness and flow quality of the air delivered to the engine affects the engine performance. The transport and cleaning of the air delivered to the engine is carried out with the air suction system. In this study, completed air intake system design was explained from the beginning to the end, implementing the customer definition parameters, product developing sequence, optimization on the system parameters and virtual verifications. In this process, Design for Six Sigma (DFSS) methodology was used based on the identify, define, develop, optimize, verify (IDDOV) sequence.

**Keywords:** Air intake system, Design for Six Sigma, IDDOV

### 1. Giriş

İçten yanmalı motorların ihtiyaç duyduğu havanın elde edilmesi amacıyla oluşturulan sistem hava emiş sistemidir. Motorun dış ortamından veya atmosferden emilen taze hava, motora ulaştırılmadan önce hava filtresi yardımıyla temizlenir. Temizlenme işlemi, hava filtresinin de içinde yer aldığı bir kutuda gerçekleşir. Bu kutuya hava filtre kutusu da denilir. Hava filtre kutusundan çıkan temiz hava borular vasıtasıyla motora ulaştırılır. Genel olarak, havanın temizlenmeden önce taşındığı kısma, kirli hava emiş kısmı; havanın temizlendikten sonraki kısmında da temiz hava emiş kısmı adlandırması yapılır.

Filtre kutusunun içinde yer alan filtre elemanlarının, dış ortamdan gelecek su etkisinden korunması gereklidir. Filtre elamanı öncesinde yer alan kirli hava emiş kısmının tasarım yapısı ile filtre elamanına suyun ulaşması engellenir. Özellikle dış ortamdan havanın ilk alındığı eleman olan şnorkelin giriş yüksekliği suyun filtreye girmemesi için doğru pozisyona yerleştirilir.

Hava emiş sisteminin diğer bir amacı da motorun hava emme gürültüsünü uygun seviyeye getirmektir. Araç kullanıcısı veya yolcusu açısından motorun oluşturduğu hava emme gürültüsü seviyesi, araç konforu için önemli bir kriterdir. Oluşan gürültünün, kullanıcıyı ve müşteriyi rahatsız etmeyecek seviyelerde olması gerekmektedir. Hava emiş sistemi ile birlikte motor öncesinde bir akış yolu ve hacmi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu hava emiş sistemi düzeninde, tasarıma bağlı olarak basınç değişimleri ve kayıpları meydana gelmektedir. Bu değişim ve kayıplara paralel olarak gürültü seviyelerinde de iyileştirmeler elde edilmektedir. Tasarımı oluşturan parçaların genel olarak geometrilerine, büyüklüklerine ve malzeme özelliklerine göre hava emiş sisteminin basınç değişimleri, dolayısıyla da gürültü özellikleri de değişmektedir. Hava emiş sistemi için seçilen tasarım hem motor öncesi basınç kaybı hem de motor emme gürültüsü özellikleri açısından etkili bir oluşumdur [1].

Motor hava emme gürültüsünün düzenlenmesinde, hava emiş sisteminde oluşan basınç kayıpları önemli bir etkidir. Diğer taraftan, motordan beklenen maksimum gücün elde edilmesi ve motorun istenilen devir aralığında verimli olarak çalışması için motora giren temiz hava sistemi ile motordan çıkan egzoz sistemi arasında basınç dengesi olması gerekmektedir. Bu dengenin korunması amacıyla, her bir motor için olması gereken en büyük hava emiş sistemi kaybı belirlenmektedir. Hava emiş sistemleri de belirlenen bu basınç kaybını aşmayacak şekilde tasarlanmaktadır. Motor kalibrasyonları da hava emiş sistemindeki ve egzoz sistemindeki basınç kaybı değerlerine göre yapılmaktadır. Eğer basınç kayıpları için belirlenen en büyük hedef değerler aşılsa, motorun yanma rejimi etkilenmektedir. Bu durumda da motordan istenilen güç değerleri elde edilememektedir. Yakıt kullanımı ve emisyon değerleri olumsuz etkilenmektedir [2].

Hava emiş sistemi tasarımında, kullanıcılar veya yolcular için önemli etken olan gürültü kontrol altına alınmalıdır. Gürültü ile ters orantılı olarak değişen basınç kaybı da motorun uygun çalışma şartlarının sağlanması için belirlenen en büyük hedef değerlerinin altında olmalıdır. Diğer bir değişle, yapılacak hava emiş sistemi hem gürültü hem de basınç kaybı verilerine göre optimum bir düzeyde oluşacak şekilde tasarlanmalıdır.

Hava emiş sistemi tasarımında, gürültü ve basınç kaybı haricinde farklı etmenler de dikkate alınmalıdır. Hava emiş sistemi temiz hava emiş borusu aracılığıyla motora bağlanmaktadır. Motorun hareketleri de hava emiş sistemini etkilemektedir. Hem araç hareketleri hem de motor hareketleri göz önüne alınarak, hava emiş sistemi ile çevre parçalar arasında birbirlerine zarar vermeyecek mesafeler bırakılmalıdır.

Hava emiş sistemi, ısı kaynağı oluşturan motor veya egzoz sistemi parçaları ile yakın mesafelere yerleşebilmektedir. Hava emiş sistemi için seçilen malzemeler, aracın çalışma koşulları belirlenerek oluşacak yüksek sıcaklıklara dayanımlı olacak şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, tasarım ve malzemeler aracın çalışma koşullarına dayanım gösterebilmelidir.

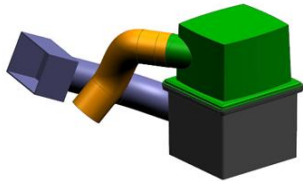
İçten yanmalı bir motorun hava emiş sistemi için gerekli kıstaslar göz önüne alınarak yeni bir tasarım, detayları ile bu çalışma yardımıyla oluşturulmuştur. Çalışma bütünüde, Tasarım için Altı Sigma (DFSS) yaklaşımından yararlanılmıştır. Sistemin gereksinimlerinin belirlenmesinden, oluşturulan yeni tasarımın doğrulanmasına kadar farklı aşamalarda incelemeler yapılarak optimum bir tasarım elde edilmiştir. En uygun tasarımın seçilmesi için basınç kaybı ve gürültü seviyeleri analizlerinden faydalanılmıştır. Tasarım süreçleri içerisinde yapılan basınç ve gürültü analizlerinde 1-D simülasyon yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen tasarım, CFD ve yapısal analiz sonuçları ile doğrulanmıştır.

## 2. Hava Emiş Sisteminin Tanımlanması ve Tasarım Sınırlarının Belirlenmesi

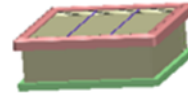
Hava emiş sistemi için yapılan bu çalışmada ana hedef olarak sistemin en uygun basınç kaybına ve ses seviyesine sahip olması amaçlanmıştır. Tasarım için hedefler ve detaylar belirlendikten sonra, tasarımın geliştirilmesi ve doğrulamaları yapılmıştır. İlk olarak hava emiş sistemde yer alan bölümlerin işlevleri incelenmiştir.

### 2.1. Hava emiş sisteminin fonksiyonel yapısı

Hava emiş sistemi genel olarak iki bölüme ayrılabilir. Bu bölümlerden ilki atmosferden veya dış ortamdan alınan taze havanın temizlenmeden önceki durumunu kapsayan kirli hava emiş kısmıdır. Diğer bölüm ise kirli havanın filtrelenmesi sonucu oluşan temiz havayı, motora ulaştıran kısımdır. Kirli hava emiş kısmında, atmosferden havanın alınmasına yardımcı olan şnorkel parçası, kirli havayı filtreye ulaştıran boru ve filtre kutusunun temizlenmemiş havayı kapsayan kısmıdır. Diğer kısımları temiz hava emiş kısmı olarak adlandırabiliriz. Aşağıda yer alan Şekil 1’de genel bir hava emiş sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1. Hava emiş sistemi genel görünüşü



Şekil 2. Örnek filtre elemanı

Hava emiş sistemi yardımıyla, motora taze ve temiz hava gönderilirken oluşan basınç kaybı değeri ve gürültü seviyesi belirlenen sınır değerlerin altında olmalıdır. Temel fonksiyonel beklenti basınç kaybı ve gürültü seviyesi değerleri olarak düşünülebilir. Ayrıca, hava emiş sisteminden farklı beklentiler de bulunmaktadır. Beklentisi olan her bir yapıtı, hava emiş sisteminin müşterisi olarak adlandırabiliriz. Bu bağlamda, hava emiş sisteminin dört temel kıstası, bir başka deyişle de müşterisi bulunmaktadır. Bunlar, aracın motoru, aracın sahibi (araçta seyahat edecek kitleyi kapsamaktadır), aracın montaj yapılacağı süreç ve aracın kalite kriterleridir.

- Aracın motoru için en önemli kıstaslardan biri, hava emiş sistemi kaynaklı oluşacak basınç kaybıdır. Ayrıca, hava emiş sistemi yardımıyla temizlenen hava motorun talep ettiği debiye ve

uniformiteye ulaştırılmalıdır.

- Araç sahipleri, kullanıcıları ve yolcular için önemli etkenler, hava emiş sisteminden gelecek gürültüdür. Diğer önemli bir beklenti de hava emiş sisteminin içine su girişi olmamasıdır. Eğer filtre elemanı sudan etkilenirse fonksiyonunu tam olarak yerine getiremez. Bu durum motora verebileceği olumsuz etki sebebiyle hem araç sahibi hem de motor için istenilmeyen durumdur.
- Aracın montaj yapılacağı süreç için önemli beklenti, sistemin kolay montaj edilebilmesidir. Buradaki önemli unsurlardan biri hava emiş sistemi ile çevre parçalar arasındaki yeterli yakınlıklardır. Ayrıca, sistem hem kolay montaj edilmeli hem de sökülmelidir.
- Kalite açısından bakıldığında sistemin fonksiyonelliğini tam olarak yerine getirmesi beklenmektedir. Ayrıca, kullanılan malzemelerin çalışma şartlarındaki sıcaklık değişikliklerine dayanması ve hava filtre kutusunun mukavemet açısından dayanıklı olması beklenmektedir.

## 2.2. Tasarım sınırlarının belirlenmesi

Hava emiş sisteminin tasarım sınırlarının belirlenmesinde, yukarıda da açılan dört temel kıstas ele alınmıştır. Bu kıstaslar için hedef değerler belirlenmiştir. Motor için, geri basınç ve akış uniformluk oranı sınırları belirlenmiştir. Araç sahipleri, kullanıcıları ve yolcular için gürültü seviyesi hedefi tanımlanmıştır. Aracın montaj süreci için çevresel parçalar ile olması gereken en düşük mesafeler belirlenmiştir. Kalite beklentileri açısından, sistemin dayanması gereken en yüksek sıcaklıklar ve filtre kutusunun dayanım sınır açıklanmıştır. Tasarım sınırları ile ilgili beklentiler Tablo 1 ile açıklanmıştır.

**Tablo 1.** Tasarım sınırları






Gereklilikler	Kısıtlar	Hedef
Motor	Geri Basınç	< a+3,5 kPA
	Akış- Uniformite İndeksi	> a +0,92
	Debi	< b+500 kg/h
Araç sahipleri, kullanıcılar, yolcular	Gürültü Seviyesi	c+91 dB(A) @ 1000 RPM
		c+94 dB(A) @ 3000 RPM
		c+97 dB(A) @ 4000 RPM
		c+100 dB(A) @ 5000 RPM
	Su Girişi Korunma Seviyesi	Snorkel Hava Giriş Yüksekliği >b+ 300 mm + Su Hattı yüksekliği
Montaj Süreci	Çevre Parçalar ile Yakınlık	> b+40 mm
	Montaj	Takılıp, Sökülebilmesi
Kalite	Malzeme Dayanımı	< a+150 °C
	Hava Filtre Kutusu Dayanımı	> b+280 Hz @ 1. Mod
	Fonksiyonel	R/100< c+ 0.02 @ 12 Months

## 3. Hava Emiş Sisteminin Tasarımın Geliştirilmesi

Tasarım sisteminin seçilmesi sürecinin bir diğer aşamasında da benzer araçların incelemeleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, bu sistemin kullanılacağı araca uygun motor yerleşimi sebebiyle tek tip hava emiş kutusu ve kutuya uygun filtre elemanı

kullanılması uygun görülmüştür. Analizlerde hava emiş kutusunun yapısı ile ilgili bir değişken kullanılmamıştır. Fakat, filtrenin hava emiş kutusu içerisinde pozisyonu değişkenler içerisinde yer almıştır. Motor pozisyonu yerleşimi ve çevresel parçalar ile olması gereken mesafeler sebebiyle, hava emiş sistemi borularının uzunluklarının da sabit olması gerekmektedir. Kullanılacak malzemeler plastik türevleri ve kauçuk olarak belirlenmiştir. Malzemeler değişken olarak değerlendirilmemiştir. Değişkenler, kirli hava emiş borusu çapı ve et kalınlığı, temiz hava emiş borusu çapı ve et kalınlığı, şnorkel giriş ağzı giriş alanı olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo 2’de değişkenler ve değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Tasarım değişkenleri

Parça Tanımı	Parça Görseli	Değişken 1	Değişken 2	Değişken 3	Değişken 4
Kirli Hava Emiş Borusu Çapı (mm)		d+75	d+80	d+85	d+90
Temiz Hava Emiş Borusu Çapı (mm)		d+65	d+70	d+75	d+80
Şnorkel Giriş Alanı (mm <sup>2</sup> )		e+6500	e+8000	e+9500	e+11000
Kirli Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)		f+2	f+3		
Temiz Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)		f+2	f+3		

Tablo 2’deki değişkenler kullanılarak Taguchi metodu yardımıyla 16 farklı tasarım konsepti oluşturulmuştur [3]. Oluşturulan tasarım konseptleri Tablo 3’ de yer almaktadır. Belirlenen konseptler, karar matris metodu oluşturularak Pugh yöntemi yardımıyla değerlendirilmiştir [4]. Burada, çok seçenekli bir tasarım setinden, belirlenen farklı kriterler yardımıyla en uygun tasarım konseptinin oluşturulması amaçlanmıştır. Oluşturulan bu karar matrisi aşağıdaki gibi Tablo 4 ile gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Tasarım konseptleri

Konsept Numarası	Kirli Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Şnorkel Giriş Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kirli Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)
1	d+75	d +65	e+6500	f+2	f+2
2	d +75	d +70	e+8000	f+2	f+2
3	d +75	d +75	e+9500	f+3	f+3
4	d +75	d +80	e+11000	f+3	f+3
5	d +80	d +65	e+8000	f+3	f+3
6	d +80	d +70	e+6500	f+3	f+3
7	d +80	d +75	e+11000	f+2	f+2
8	d +80	d +80	e+9500	f+2	f+2
9	d +85	d +65	e+9500	f+2	f+3

10	d +85	d +70	e+11000	f+3	f+3
11	d +85	d +75	e+7000	f+3	f+2
12	d +85	d +80	e+8000	f+3	f+2
13	d +90	d +65	e+11000	f+3	f+2
14	d +90	d +70	e+9500	f+3	f+2
15	d +90	d +75	e+8000	f+2	f+3
16	d +90	d +80	e+6500	f+2	f+3

Tablo 4. Karar matrisi

Konsept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Kriterler</b>																
Emiş ağızından su girmesinin önlenmesi	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Sistemin basınç değişimi	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+
Kirli hava emiş borusu basınç değişimi	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Temiz hava emiş borusu basınç değişimi	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Filtre kutusu basınç değişimi	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Sistemin emiş sesi	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
Kirli hava emiş borusu emiş sesi	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+
Temiz hava emiş borusu emiş sesi	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
Filtre kutusu emiş sesi	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Sistemin kolay montajı	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Filtre elemanı(kartuş) değişim kolaylığı	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Filtre elemanına(kartuşa) su ulaşmaması	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
Estetik görünüm	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+
Düzgün hava akışı: çıkış(üniformluk)	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-
Bileşenlerin kolay montajı / sökülmesi	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Hava filtresi kutusunun mekanik direnci	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Düşük sistem maliyeti	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Yerel üretim	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Hava sızdırmazlığı	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+
Düşük ağırlık	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-
Az sayıda bileşen	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Kartuş filtreleme performansı	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Temiz hava girişi kolaylığı	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-
S+	9	8	8	7	9	11	9	8	6	6	5	6	9	6	6	5
S-	5	6	6	7	5	3	5	6	8	8	9	8	5	8	8	9
Ss	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Toplam	4	2	2	0	4	8	4	2	-2	-2	-4	-2	4	-2	-2	-4

Oluşturulan karar matrisine göre en uygun tasarım seçeneği, en yüksek puanı alan 6 numaralı tasarım konseptidir. Seçilen altı numaralı konseptteki değişkenlerin değerleri aşağıda yer alan Tablo 5 'de görülmektedir.

**Tablo 5.** Başlangıç tasarımı

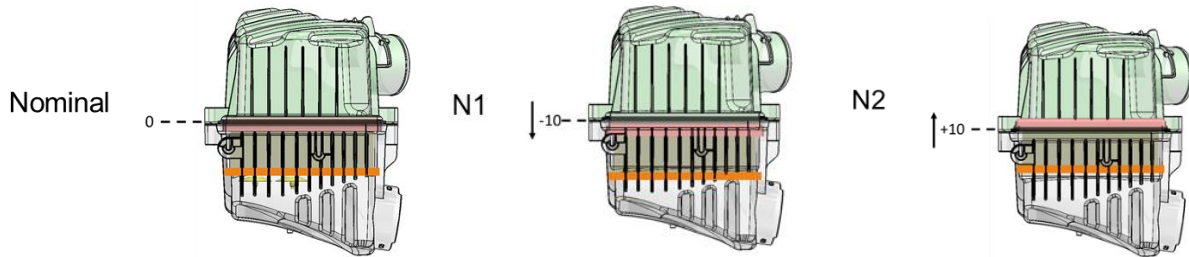
	Kirli Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Şnorkel Giriş Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kirli Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)
Başlangıç Tasarımı	d+80	d+70	e+6500	f+3	f+3

Hava emiş sistemi tasarımı için belirlenen değişkenlere göre geliştirilen bu tasarım, başlangıç tasarımıdır. Geliştirilen tasarım, bir sonraki aşamada optimize ederek nihai tasarıma ulaşmıştır.

#### 4. Geliştirilen Tasarımın Optimizasyonu

##### 4.1. Sistemin kontrol ve gürültü faktörlerinin belirlenmesi

Optimizasyon aşamasında robuts tasarım yöntemi, diğer bir deyişle Taguchi metodu kullanılmıştır. Robust tasarım yöntemi ile basınç kaybı ve hava emiş sistemi gürültü seviyesinin hedeflenen değerlerin altında aynı zamanda da en uygun seviyelerde olması amaçlanmıştır [5]. Taguchi metodunda iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol ve gürültü faktörleri olarak adlandırılır. Kontrol faktörleri, kontrol altına alınabilen süreç veya tasarım parametrelerini ifade eder. Kontrol edilmesi zor olan süreç veya tasarım parametreleri de gürültü faktörleri olarak adlandırılır. Gürültü faktörleri, tasarım sistemlerinden beklenen performansa olumsuz etki edebilen parametrelerdir. Bu sebeple de gürültü faktörleri, tasarım süreci içerisine eklenmelidir. Hava emiş sistemindeki kontrol faktörleri, şnorkel parçasının giriş kesit alanının aracın ön tarafına gelebilecek maksimum su yüksekliğinden fazla olması, kirli hava emiş borusu (çapı ve kalınlığı), temiz hava emiş borusu (çapı ve kalınlığı), kirli hava emiş borusu malzemesi, temiz hava emiş borusu malzemesi ve hava filtre kutusu hacmi olarak belirlenmiştir. Hava emiş sistemindeki girdi değeri olarak taze hava debisi, çıktı değerleri olarak hava emiş sesi ve hava emiş sistemi basınç kaybı olarak belirlenmiştir [2, 6]. Sistemin gürültü parametresi olarak, hava filtre kutusunda yer alan filtre elemanının pozisyonu belirlenmiştir. Hava filtre elemanının düşey konumda, montaj pozisyonundan 10 mm altında olma durumu ve 10 mm üzerinde olma durumu en büyük gürültü parametreleri olarak sırasıyla birinci ve ikinci gürültü seviyesi olarak değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.** Hava filtre elemanının gürültü faktörüne göre yerleşimi

### 3.2. Basınç ve emiş sesi değerlerinin bir boyutlu analizler ile elde edilmesi

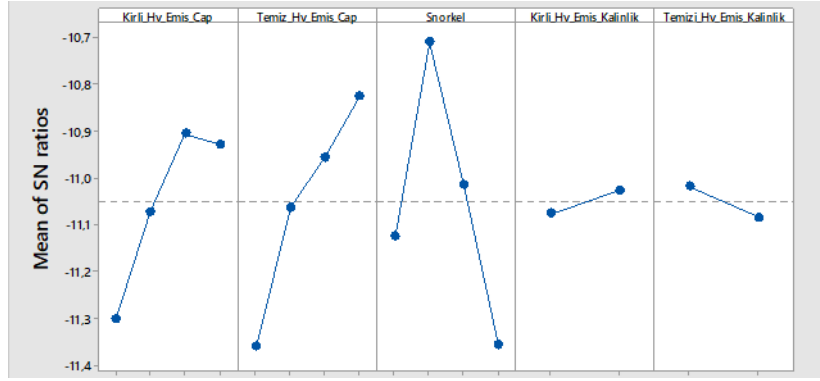
Taguchi metodu yaklaşımı ile belirlenen değişkenler kullanılarak Tablo 3'deki gibi 16 farklı tasarım konsepti oluşturulmuştur. Bu konseptlerin kullanılması sonucu oluşacak basınç ve hava emiş ses değerleri, birinci ve ikinci gürültü seviyelerine göre ayrı ayrı bir boyutlu analizlerle elde edilmiştir. Bir boyutlu analizler için GT Suite yazılımı kullanılmıştır. Bulunan basınç ve ses değerleri Tablo 6' da yer almaktadır.

**Tablo 6.** Basınç kaybı ve hava emiş sesi analiz sonuçları

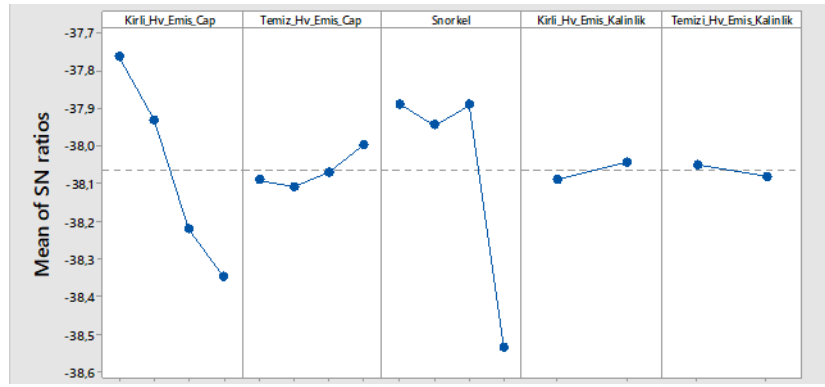
Konsept Numarası	Kirli Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Şnorkel Giriş Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kirli Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)	Basınç Kaybı (kPA)		Emiş Sesi (dBA)	
						N1	N2	N1	N2
1	d+75	d +65	e+6500	f+2	f+2	a+2,99	a+4,01	c+75,40	c+71,76
2	d +75	d +70	e+8000	f+2	f+2	a+2,86	a+3,85	c+75,14	c+71,37
3	d +75	d +75	e+9500	f+3	f+3	a+2,81	a+3,78	c+74,61	c+77,69
4	d +75	d +80	e+11000	f+3	f+3	a+3,24	a+3,87	c+79,22	c+76,79
5	d +80	d +65	e+8000	f+3	f+3	a+3,40	a+3,39	c+74,27	c+75,54
6	d +80	d +70	e+6500	f+3	f+3	a+2,85	a+3,83	c+76,37	c+72,78
7	d +80	d +75	e+11000	f+2	f+2	a+2,95	a+3,82	c+83,51	c+78,06
8	d +80	d +80	e+9500	f+2	f+2	a+2,98	a+3,61	c+73,85	c+72,42
9	d +85	d +65	e+9500	f+2	f+3	a+2,94	a+3,93	c+79,29	c+75,84
10	d +85	d +70	e+11000	f+3	f+3	a+2,91	a+3,81	c+78,83	c+71,62
11	d +85	d +75	e+7000	f+3	f+2	a+3,07	a+3,68	c+76,90	c+75,09
12	d +85	d +80	e+8000	f+3	f+2	a+2,95	a+3,08	c+76,53	c+77,17
13	d +90	d +65	e+11000	f+3	f+2	a+3,05	a+3,93	c+86,47	c+79,53
14	d +90	d +70	e+9500	f+3	f+2	a+2,80	a+3,74	c+80,40	c+76,86
15	d +90	d +75	e+8000	f+2	f+3	a+2,74	a+3,61	c+80,46	c+77,15
16	d +90	d +80	e+6500	f+2	f+3	a+2,96	a+3,57	c+78,72	c+76,56

Her bir gürültü seviyesi için elde edilen basınç kaybı ve ses değerleri Minitab programı ile değişkenlere göre analiz edilmiştir. Sinyal- Gürültü oranları (S/N oranı), basınç değerleri için Şekil 4' de, ses değerleri için ise Şekil 5' de görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4 ve Şekil 5' te yer alan değişken değerleri, Tablo 2'de yer alan sıraya göredir. Şekil 4 ve Şekil 5' te yer alan grafikler birlikte değerlendirilerek, basınç ve ses grafiklerindeki düşük S/N oranına sahip değerler seçilmiştir [5]. Seçilen bu değerler artık optimizasyon sonrası oluşan değerler (optimize edilmiş değerler) olarak adlandırılmaktadır. Optimize edilmiş değerler ile başlangıç değerleri Tablo 7' de bir arada gösterilmiştir.





Şekil 4. Basınç kaybı değerlerine göre S-N oranı grafiği



Şekil 5. Emiş sesi değerlerine göre S-N oranı grafiği

Tablo 7. Seçilen tasarımların konseptleri

	Kirli Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Çapı (mm)	Şnorkel Giriş Alanı (mm <sup>2</sup> )	Kirli Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)	Temiz Hava Emiş Borusu Kalınlığı (mm)
Başlangıç Tasarımı	d+80	d+70	e+6500	f+3	f+3
Optimize Edilmiş Nihai Tasarım	d+90	d+65	e+11000	f+2	f+3

Başlangıç değerleri ile oluşturulan tasarım ile optimizasyon sonucu oluşan nihai tasarımların, basınç kaybı ve ses değerleri için S/N oranları Minitab programı ile elde edilerek Tablo 8’de gösterilmiştir. Geri basınç için yaklaşık 1, emiş sesi için de 1.9 şeklinde oluşan S/N oranı düşüşü, sistemin ilk tasarıma göre optimize edilmiş tasarımda iyileştiğini matematiksel olarak da göstermektedir.

**Tablo 8.** Seçilen tasarım konseptlerinin S/N oranları

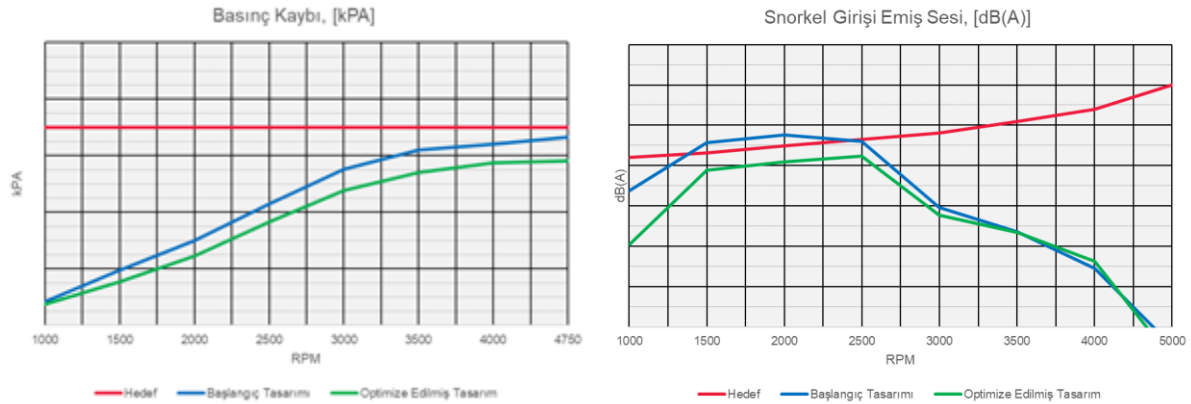
	Basınç Kaybı S/N Oranı	Emiş Sesi S/N Oranı
Başlangıç Tasarımı	-10,3506	-38,1921
Optimize Edilmiş Nihai Tasarım	-11,3573	-40,1874
Fark( $\Delta$ )	-1,0067	-1,9953

#### 4. Optimize Edilmiş Tasarımın Doğrulanması

Optimize edilmiş tasarımın ilk olarak basınç kaybı ve ses kaybı hedef değerlerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Basınç kaybı ve emiş sesi değerleri ilk olarak bir boyutlu analiz yardımıyla yapılmıştır. Ardından basınç kaybı değeri CFD ile de değerlendirilmiştir.

Çevre parçalar ile hava emiş sistemi arasında olması gereken yakınlıklar ve şnorkel ağzının maksimum su seviyesinden yüksekliği aracın diğer komponentlerine göre kontrol edilmiştir. Mesafeler hedeflenen değerleri karşılamaktadır. Görseller araç için özel olduğundan bu çalışmada paylaşılmamıştır.

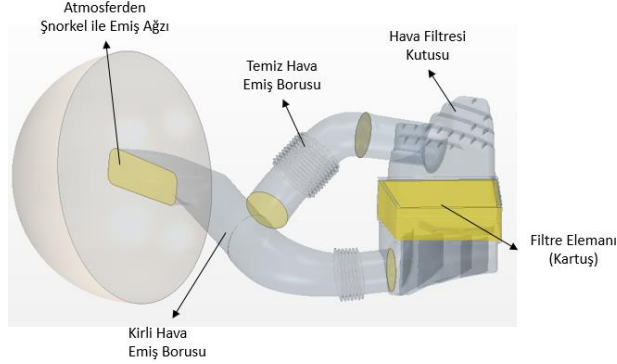
Optimize edilen tasarımın ve başlangıç tasarımının, bir boyutlu analizlerle oluşturulan basınç kaybı değerleri Şekil 6 ile gösterilmiştir.

**Şekil 6.** Başlangıç ve optimize edilmiş (nihai) tasarımın basınç kayıpları ve emiş sesleri

Şekil 6'da da görüldüğü gibi optimize edilen tasarım, basınç kaybı ve emiş sesi değerleri bakımından hedef değerlerinin altındadır ve başlangıç tasarımına göre daha iyi konumda yer almaktadır. Ayrıca hem basınç kaybı hem de emiş sesi bakımından hedeflenen değerlerin altında olunması sistemin bu iki temel kriter açısından doğrulanmasıdır.

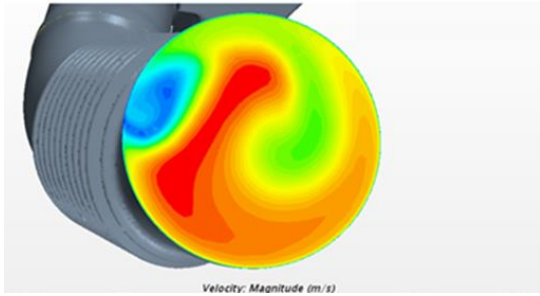
Diğer bir doğrulama da basınç kaybının CFD (Star CCM yazılımı) analizi ile hesaplanmasıdır.

Analize sokulan tasarımın 3D modeli Şekil 7’de gösterilmiştir. Bir boyutlu analize göre, CFD analizlerinin hassas sonuçlar vermesi beklenen bir durumdur. Bu sebeple de CFD analizlerine göre basınç kaybı, bir boyutlu analizlere göre 0.8 kPA daha düşük hesaplanmıştır.

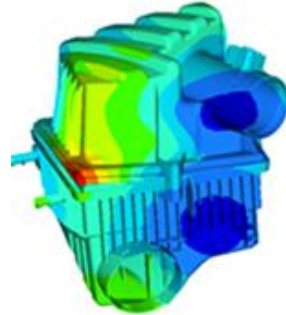


Şekil 7. Tasarımın analiz modeli

Akış ile ilgili diğer bir kriter de motor girişinde akış ünifomluk indeksinin  $a+0,92$ 'den büyük olmasıdır. Hava emiş sisteminin tamamlandığı ve motora giriş yapılan kesitte ünifomluk indeksi hedeflenen değerden daha iyi bir seviyede olup  $a+0,93$  olarak bulunmuştur. Ünifomluk endeksinin hesaplandığı kesit Şekil 8 ile gösterilmiştir.



Şekil 8. Ünifomluk indeksi kesiti



Şekil 9. Hava filtre kutusu- 1. Mod onucu

Bir sonraki aşamada, hava emiş filtre kutusunun yapısal dayanımının incelenmiştir. Optistruct programı ile yapılan modal analiz sonucu Şekil 9’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 1. modda hedef değer olan  $b+280$  Hz’in üzerine çıktığı, sonuç olarak  $b+304$  Hz elde edildiği anlaşılmıştır.

## 5. Sonuç

Ticari bir araç için hava emiş sistemi Altı Sigma Tasarım (DFSS) metodolojisi kullanılarak bu çalışma yarımıyla oluşturulmuştur. Sistemden beklenen ihtiyaçların karşılanması için farklı tasarım konseptleri belirlenmiştir. Tasarım konseptleri kendi aralarında değerlendirilerek, en uygun olan

konsept seçilmiştir. Belirlenen seçenek Taguchi yaklaşımı yardımıyla optimize edilerek nihai tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan nihai tasarım, tasarım için belirlenen hedeflere göre sanal analizler yardımıyla doğrulanmıştır.

Oluşturulan nihai tasarım, hedef değerlere ve başlangıç tasarıma göre basınç kaybı ve emiş sesi kriterlerine göre daha iyi bir noktaya çekilmiştir. DFSS sistematiği kullanılarak, tasarım için önemli parametreler kontrol altına alınmıştır. Parametrelerin kendi aralarındaki ilişkileri esas alınarak, oluşturulan nihai sistem üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu sayede de oluşturulan konseptler içinden en uygun olanı seçilebilmiştir.

## **Kaynaklar**

- [1] Lee H, Yang B, Cho H. Air flow analysis of snorkel in vehicle intake system. International Journal of Applied Engineering Research 2017; ISSN 0973-4562- Volume 12.
- [2] Xu C, Cho H. Analysis on the noise reduction of engine with air intake resonator in engine intake system. International Journal of Engineering and Technology 2018; 10(1):149-153.
- [3] Chen J, Li Y, Cox R. Taguchi-based six sigma approach to optimize plasma cutting process: an industrial case study. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2002; Volume 41, Issue 7–8, pp 760–769.
- [4] Burge S. Pugh matrix (PM). The Systems Engineering Tool Box; 2009
- [5] URL1: Methods and formulas for Analyze Taguchi Design, Minitab 19 Support, <https://support.minitab.com/>.
- [6] Ramasamy D, Zamri M, Mahendran S, Vijayan S. Design optimization of air intake system (ais) of 1.6l engine by adding guide vane. International Multiconference of Engineers and Computer Scientists Hong Kong. Vol 2; 2010.